

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Кравченко Евгении Васильевны
“Многочастотные поляриметрические исследования физических условий в активных
ядрах галактик”

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Современные прорывные технологии в наблюдательной астрофизике позволяют решать задачи нового уровня, требующие как наблюдений с высоким угловым разрешением, так и сложных численных экспериментов. Среди наиболее интересных астрофизических задач последних 50-ти лет, решение которых существенно продвинулось благодаря наблюдательным технологиям, в первом ряду стоят исследования активных ядер галактик (АЯГ), представляющих собой компактные объекты в центрах галактик и содержащие сверхмассивную черную дыру. Один из главных показателей активности ядра — наличие джетов — коллимированных потоков плазмы, исходящих из полюсов АЯГ и достигающих длины нескольких мегапарсек. Многие свойства джетов определяются механизмами их образования, которые до конца не ясны. Многочастотная радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (в том числе и космическими, как у “Радиоастрона”), дающая рекордное угловое разрешение, и поляриметрия в рамках радиоинтерферометрических наблюдений помогают не только изучить магнитные поля вблизи центральной машины АЯГ, но и проверить модели образования струй и, вообще, исследовать физические условия в АЯГ на парсековых масштабах. Поэтому предлагаемая диссертация Евгении Васильевны Кравченко, посвященная методам и результатам анализа физических свойств активных ядер галактик, магнитных полей и условий формирования джетов с помощью радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами, несомненно актуальна.

Основными целями диссертационной работы Е.В.Кравченко стали исследования физических свойств АЯГ на парсековых масштабах, включая анализ структуры магнитных полей активных ядер, особенностей распространения радио и гамма-излучения вдоль релятивистских струй, исследования переменности и оценку физических параметров АЯГ.

Диссертация содержит четыре главы, а также Введение, Заключение, списки иллюстраций, таблиц, используемых аббревиатур и литературы.

Во **Введении** приведены основные цели диссертационной работы, показаны ее научная новизна и практическая ценность. Обосновывается актуальность этих исследований, и представлены результаты работы, выносимые на защиту. Приведен список публикаций автора, в которых опубликованы эти результаты. Также во Введении кратко описано содержание глав диссертации.

В **Первой главе** приводится описание принципов работы радиоинтерферометра, методов обработки интерферометрических данных и основных используемых в работе физических величин. Рассмотрены принципы анализа наблюдений на телескопах VLBA, VLA, а также особенностей обработки поляризационных наблюдений, гибридного картографирования и моделирования структуры наблюдаемых радиоисточников.

Во **Второй главе** диссертации исследуется фарадеевское вращение в активных ядрах галактик. Приводятся результаты по обработке данных измерений меры фарадеевского вращения в 30 активных ядрах галактик и области центра нашей Галактики (в радиоисточнике Стрелец А). Обсуждаются особенности анализа поляризационных данных и методика построения карт меры фарадеевского вращения на различных частотах по архивным данным наблюдений на VLA и VLBA. Исследовано поведение величины меры вращения во времени по данным наблюдений объектов из списка диссертанта. Обнаружено систематическое увеличение меры вращения в ядрах струй с увеличением

частоты наблюдений, что объясняется увеличением напряженности магнитного поля и плотности плазмы при приближении к центральной машине АЯГ. Предложенная методика синтеза фарадеевских мер вращения была опробована на наблюдениях Галактического магнетара PSR J1745-2900.

Третья глава посвящена исследованиям свойств замагниченной плазмы и конфигурации магнитных полей 20 активных ядер галактик на основе обработки наблюдений на VLBA. Впервые получены спектры линейной поляризации и направление вектора линейной поляризации в ядрах и в области оптически прозрачного излучения струй. С помощью моделирования определен механизм деполяризации, действующий в каждой струе, и изучены свойства замагниченной плазмы, окружающей источник. В результате анализа всех поляризационных свойств АЯГ показано, что модель структуры струй “сердцевина-оболочка”, где синхротронное излучение генерируется во внутренних слоях джета, может быть применима ко всем источникам и рассматриваться как общая модель строения релятивистских струй АЯГ.

В **Четвертой главе** проведено исследование квазара S4 1030+61 в широком диапазоне частот. Впервые проведен подробный анализ объекта на парсековых масштабах во время мощной гамма-вспышки. Проведено моделирование и исследован вопрос о месте генерации высокоэнергичного излучения и его распространении вдоль струйного выброса. Обнаружена переменность направления и величины линейной поляризации ядра струи, в том числе изменение фарадеевской меры вращения, сопутствующие активному состоянию квазара. Сделан вывод, что вспышечная активность источника сопровождается вбросом плотного вещества в начало струи и компрессией магнитного поля и может быть связана с изменением направления распространения струи.

В Заключение приведены основные результаты диссертационного исследования.

Среди основных результатов диссертации, на мой взгляд, можно выделить получение с помощью РСДБ новых карт фарадеевской меры вращения для 21 квазара на сантиметровых волнах, косвенное подтверждение наличия спиралевидного магнитного поля во внешних областях струй, определение действующих деполяризационных механизмов и физических свойств вещества, окружающего релятивистские струи 20 активных ядер галактик, а также фиксацию модели структуры струйных выбросов активных ядер галактик в виде “сердцевины” и окружающей ее оболочки. Нужно отметить также определение физических параметров квазара S4 1030+61 после яркой гамма-вспышки с помощью РСДБ и данным гамма-диапазона.

Научная новизна работы определяется тем, что 1) впервые построены карты фарадеевского вращения для 22 квазаров; 2) впервые получены одновременные поляризационные спектры в ядрах и оптически прозрачных компонентах выбросов 20 АЯГ; 3) впервые проведено детальное исследование структуры, кинематики и свойств квазара S4 1030+61 в гамма- и радиодиапазонах.

Практическая значимость состоит в том, что 1) предложена модель структуры струйных выбросов активных ядер галактик в виде “сердцевины” и окружающей ее оболочки, которая может объяснить наблюдаемые поляризационные свойства источников; 2) отработан метод синтеза фарадеевских мер вращения на наблюдениях галактического магнетара J1745-2900, выполненных на телескопе VLA в диапазоне 40-48 ГГц; 3) предложена новая методика калибровки поляриметрических данных, “дифференциальная инструментальная калибровка”, учитывающая влияние искажения поверхности радиоантенн VLA под действием силы тяжести на результаты поляризационных измерений.

Диссертация нашла полное отражение в четырех публикациях в международных

астрономических журналах таких, как “Astronomische Nachrichten” и “Monthly Notices R. Astron. Soc.”, удовлетворяющих списку и требованиям ВАК.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Выводы и результаты **обоснованны и достоверны**, что подтверждается применением современных методов наблюдения и анализа данных, публикациями в ведущих астрономических журналах. Моделирование структуры джетов у квазаров исследуемой выборки в виде “сердцевины” и окружающей ее оболочки дает непротиворечащие наблюдениям результаты.

Диссертация хорошо иллюстрирована и содержит детальное описание применяемых методов, что позволяет разобраться в особенностях получения научных результатов.

Имеется ряд мелких *замечаний*.

При представлении результатов во Введении и автореферате, выносимых на защиту, для каждого результата можно было бы ограничиться 2-3 предложениями.

На стр.5 приведено определение: “Согласно современному пониманию, АЯГ представляют собой компактные области в центрах далеких галактик.” Это не совсем корректно, так как АЯГ есть и в Местном скоплении галактик: например, радиогалактика Центавр А.

В Первой главе можно уменьшить объем информации в вводной части (стр.19-20), оформив, например, доступное в учебниках описание работы радиоинтерферометра в виде приложения.

Диссертант, говоря о себе, переходит на мужской род при использовании местоимений (‘им’), что может приводить к путанице с упоминаемыми ранее предметом обсуждения либо соавторами (например, пункт 1 описания личного вклада на стр.15 диссертации и стр.12 автореферата).

Имеет смысл уточнить, возможно ли в дальнейшем учесть в формуле (2.4) (стр.33) зависимость фарадевского вращения, производимое веществом межгалактической среды, от красного смещения? Ведь регистрируемый сигнал, если он сгенерирован на больших красных смещениях, проходит через филаменты, пустоты и скопления галактик, наблюдаемые как часть крупномасштабной структуры.

На стр. 36 используется не совсем удачная фраза “Фарадеевская мера вращения при этом определялась линейной аппроксимацией... в каждом пикселе совмещенных карт”. Звучит так, как будто для каждого пиксела в отдельности проводилась аппроксимация, в то время как ее проводят для набора пикселов.

На стр.141, рис.4.1, обсуждаемые компоненты не отмечены на рисунке.

На стр.157, пункт 4 выводов. Приведена фраза: “Самая мощная гамма-вспышка в источнике может быть ассоциирована с одной из сильнейших радио-вспышек. При этом области, где рождается гамма- и радио-излучение, видимое на 15 ГГц, разнесены в пространстве на (12 ± 2) пк.” В каком смысле используется термин “ассоциирована”, если это разные пространственные области?

В тексте встречаются стилистически неудачные обороты.

Например, на стр.85, подпись к рис.2.11, есть жаргон: “поток в Стоксах Q и U”.

На стр.139, параграф 4.1; “В 1965 г. была впервые обнаружена временная радиопеременность квазаров” “Какая еще радиопеременность могла быть обнаружена в 1965 г.?”

На стр.152, строка 4; “Результаты подгонки данных зависимостями, представленных зависимостью...”

На стр.152, строка 7, “Используя полученные ранее оценки, ... индекс равен...”

На стр.161 при выражении благодарностей имена собственные (“Рустам”) должны склоняться.

Среди опечаток можно отметить следующие: на стр. 26, строка 18, в слове “в течение” (“в течении”); на стр. 28, строка 11 снизу, в слове “финальные” (“Фианальные”); на стр.31, строка 13, оборот “написанием статьей”; на стр.36, строка 5 под таблицей, оборот “параметров Стоксов”; на стр.39, подпись к рис 2.3., “Результат диссертана”; на стр.90, строка 19, в слове “Вследствие” (“Вследствии”) и ряд других.

Перечисленные замечания носят, скорее, редакционный характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

Заключение. Считаю, что представленная диссертационная работа является исследованием, имеющим большое научное и практическое значение в задачах изучения активных ядер галактик, релятивистских струй, методике радиоинтерферометрических наблюдений со сверхдлинными базами, а также при интерпретации данных, полученных в современных наблюдательных астрономических экспериментах. Диссертант показал свою высокую квалификацию в проведенных им исследованиях магнитных полей джетов активных ядер галактик и анализе наблюдательных радиоинтерферометрических данных. Диссертация удовлетворяет всем требованиям “Положения о порядке присуждения ученых степеней” ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Кравченко Евгения Васильевна *несомненно заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 “Астрофизика и звездная астрономия”*.

Официальный оппонент

докт.физ.-мат.н., вед.н.с. Верходанов Олег Васильевич
Специальная астрофизическая обсерватория (САО) РАН
пос. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская респ., 369167
т. 8-87878-46329, адрес эл.почты: vo@sao.ru

Подпись Верходанова О.В. заверяю
ученый секретарь САО РАН, к.ф.-м.н.

/ Е. И. Кайсина /

2.05.2017 г.